

## Radio-frequency generator

### Bibliographic data

**Patent number:** DE3733263

**Publication date:** 1988-04-14

**Inventor:** DEDE GARCIA-SANTAMARIA ENRIQUE (ES)

**Applicant:** GH IND SA (ES)

**Classification:**

- **international:** H02M7/537; H02M5/458; H03L7/00; H05H1/24; H05B6/04

- **european:** H02M7/5387C

**Application number:** DE19873733263 19871001

**Priority number(s):** ES19860002373 19861002

### Abstract of DE3733263

A radio-frequency generator for an induction heater, laser and plasma applications and the like, by means of which a load (13) which is essentially a resonant circuit is supplied with an adjustable power whose frequency is equal to or approximately equal to the natural resonant frequency of the load (13) at a given point in time. The generator comprises a bridge rectifier (1), a chopper (2), a starter (3), isolating windings (4), a transistor invertor (5), an automatic frequency tracking system (6), a regulation and protection system (7), a trigger circuit (8, 9), control signal supply, monitoring and generation systems (10), and transformers (11, 12).

⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

# Offenlegungsschrift

⑪ DE 37 33 263 A1

⑯ Int. Cl. 4:

H 02 M 7/537

H 02 M 5/458

H 03 L 7/00

H 05 H 1/24

H 05 B 6/04

⑳ Unionspriorität: ⑲ ⑳ ⑳

02.10.86 ES 02373

㉑ Anmelder:

G. H. Industrial S.A., San Antonio de Benageber,  
Valencia, ES

㉔ Vertreter:

Weickmann, H., Dipl.-Ing.; Fincke, K., Dipl.-Phys.  
Dr.; Weickmann, F., Dipl.-Ing.; Huber, B.,  
Dipl.-Chem.; Liska, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Prechtel,  
J., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000  
München

㉒ Erfinder:

Dede Garcia-Santamaria, Enrique Juan Francisco,  
Valencia, ES

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉕ Hochfrequenzgenerator

Hochfrequenzgenerator für eine Induktionsheizung, Laser- und Plasmaanwendungen und ähnliches, mit dem eine Last (13), die im wesentlichen ein Resonanzkreis ist, mit einer einstellbaren Energie versorgt wird, deren Frequenz gleich oder nahezu gleich der Eigenresonanzfrequenz der Last (13) zu einem gegebenen Zeitpunkt ist. Der Generator umfaßt einen Brückengleichrichter (1), einen Zerhacker (2), einen Starter (3), Trennwicklungen (4), einen Transistorinverter (5), ein automatisches Frequenznachlaufsystem (6), ein Regulier- und Schutzsystem (7), eine Triggerschaltung (8, 9), Steuersignalversorgungs-, -überwachungs- und -erzeugungssysteme (10) und Transformatoren (11, 12).

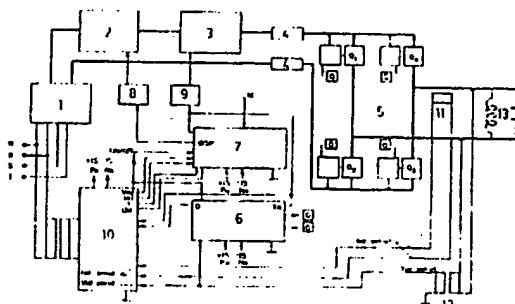


FIG.1

DE 37 33 263 A1

DE 37 33 263 A1

## Patentansprüche

1. Hochfrequenzgenerator für Induktionsheizungs-, Laser- und Plasmaanwendungen und ähnliches gekennzeichnet durch einen Diodenbrückengleichrichter (1), einen Zerhacker (2), einen Starter (3), Trennwicklungen (4), einen Transistorinverter (5), ein automatisches Frequenznachlaufsystem (6), ein Regulier- und Schutzsystem (7), Triggerschaltungen (8, 9), Steuersignalversorgungs-, Überwachungs- und Generatorsysteme (10), Transformatoren (11, 12) und eine Last (13), beispielsweise eine Induktionsheizung, ein Laser, ein Plasma usw., wobei die Last (13), die im wesentlichen ein Resonanzkreis ist, mit einer einstellbaren Leistung auf einer Frequenz versorgt wird, die gleich oder nahezu gleich der Eigenresonanzfrequenz der Last (13) zu einem gegebenen Zeitpunkt ist und wobei diese Ausgangsleistung ihre Frequenz automatisch ändert, um jeder Änderung der Eigenresonanzfrequenz der Last (13) nachzulaufen, die durch Änderungen der Last (13) oder ihrer elektrischen Eigenschaften hervorgerufen wird.
2. Hochfrequenzgenerator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß über den Transistorinverter (5) ein Frequenzhub in der Last (13) eingerichtet wird, die Phasenverschiebung zwischen der Lastspannung und dem Laststrom bei diesen Frequenzen gemessen wird, so daß der Grund dafür, daß die Phasenverschiebung gleich null oder nahezu gleich null ist, darin besteht, daß die Frequenz des Durchlaufes des Frequenzhubes gleich der Eigenresonanzfrequenz der Last ist, und daß zu diesem Zeitpunkt die Arbeit des Inverters (5) auf dieser Frequenz stabilisiert wird, und der Inverter (5) und über ihn die Last (13) mit Energie versorgt wird, wobei die dazu vorgesehene Schaltung einen Zähler (14), einen Digital/Analog-Wandler (15), einen Oszillator (16), einen Detektor (17) für die Größe und das Vorzeichen der Phasenverschiebung und einen Komparator (18) mit Hysterese umfaßt.
3. Hochfrequenzgenerator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Starterschaltung (3) die Leistungsabgabe an den Transistorinverter (5) und folglich an die Last (13) begrenzt, wenn die Arbeitsfrequenz des Inverters (5) nicht gleich oder nahezu gleich der Eigenresonanzfrequenz der Last (13) ist, daß dann, wenn beide Frequenzen gleich oder nahezu gleich sind, der Starter (3) nur mit den Begrenzungen, die durch die vorher vorgesehene Regelung auferlegt sind, durchlässig ist, wobei die Starterschaltung (3) von einem Widerstand ( $R$ ) und einem Transistor (7) gebildet ist, die parallel geschaltet sind, daß dann, wenn am Anfang oder während des Betriebes die Inverterfrequenz und die Eigenfrequenz der Last (13) nicht gleich oder nahezu gleich sind, der Transistor ( $T1$ ) sperrt und der gesamte Strom über den Widerstand ( $R$ ) gehen muß, der den Wert dieses Stromes begrenzt, und daß dann, wenn beide Frequenzen gleich oder nahezu gleich sind, der Transistor ( $T1$ ) durchgeschaltet wird und der gesamte Strom über den Transistor ( $T1$ ) geht.
4. Hochfrequenzgenerator nach Anspruch 1, 2 oder 3, gekennzeichnet durch einen aktiven Teil, der jedem der Inverterblöcke entspricht und vorzugsweise aus einer Diode besteht, der Transistoren nachgeschaltet sind.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Hochfrequenzgenerator, insbesondere einen Transistorgenerator, zum Erzeugen von hochfrequenten Strömen. Ein derartiger Generator kann mit geringfügigen Abwandlungen in der Ausgangsstufe in Induktionsheizgeneratoren, Lasereinrichtungen, Plasmaanlagen usw. eingesetzt werden.

Es sind zwei verschiedene Arten von Generatoren zum Erzeugen von hochfrequenten Strömen bekannt.

- Bis zu einer Frequenz im Bereich von 50 kHz werden Thyristoren verwendet, die die Last auf eine Frequenz abstimmen, die ein Mehrfaches der Arbeitsfrequenz des Thyristorinverter ist.
- Von 100 kHz bis einigen MHz werden Hochfrequenzgeneratoren mit elektronischem Ventil benutzt.

Diese bekannten Generatoren haben die folgenden Hauptnachteile:

- Bei Thyristorgeneratoren ist die Frequenz auf nur 50 kHz begrenzt, wobei diese Generatoren im allgemeinen als statische Inverter benutzt werden, die bei 10 kHz arbeiten. Die Kopplung der Last an eine Frequenz, die gleich einem Vielfachen der Hauptfrequenz ist, ist problematisch und mit hohen Kosten verbunden. Als Folge dieser Kopplung an ein Vielfaches dieser Frequenz ist die Arbeitsleistung der Einrichtung relativ niedrig.
- Bei Generatoren mit elektronischem Ventil, bei denen kaum eine Frequenzbegrenzung besteht, besteht der erste Nachteil in der Verwendung von elektronischen Vakuumventilen. Diese Ventile haben eine Lebensdauer von 5000 bis 6000 Stunden und müssen danach mit den sich daraus ergebenden Kosten ersetzt werden. Andererseits muß die Versorgung dieser elektronischen Ventile unter einer hohen Spannung erfolgen, wofür ein Zusatztransformator und ein Diodenbrückengleichrichter benutzt werden, die ein erhebliches Volumen haben und Probleme bezüglich der Sicherheit des Personals mit sich bringen. Die Energieausbeute dieser Vorrichtung liegt im Bereich von 50 bis 55% klassischer Generatoren bis 70% aperiodischer Generatoren.

Der erfindungsgemäße Transistorgenerator beseitigt alle diese Nachteile und hat die folgenden Vorteile:

- Er kann bei irgendeiner Frequenz von der Netzfrequenz bis einigen 100 kHz arbeiten.
- Die Energieausbeute ist in Abhängigkeit vom Anwendungszweck sehr hoch, beträgt jedoch in jedem Fall mehr als 90%.
- Es ist keine Hochspannungsenergiequelle vorgesehen.
- Er ermöglicht einen automatischen Nachlauf der Frequenzänderungen, die in der Last erzeugt werden, bei einer Änderung der letzteren oder bei Änderungen ihrer elektrischen Charakteristik, während beispielsweise eines Heizvorganges.
- Sein Volumen ist wesentlich geringer.

Der erfindungsgemäße Generator besteht aus den folgenden Bauteilen:

- Einem Diodenbrückengleichrichter,

2. einem Zerhacker,
3. einem Starter,
4. Trennwicklungen,
5. einem Transistorinverter,
6. einem automatischen Frequenznachlaufsystem,
7. einem Regulier- und Schutzsystem,
8. und 9. Triggerschaltungen,
10. einem Steuersignale liefernden Überwachungs- und Generatorsystem,
11. und 12. Transformatoren, und
13. einer Last (induktive Heizung, Laser, Plasmaeinrichtung und ähnliches).

Der erfindungsgemäße Generator soll eine einstellbare Leistung mit einer Frequenz, die gleich oder nahezu zu gleich der Eigenresonanzfrequenz der Last zu einem gegebenen Zeitpunkt ist, der Last liefern, die im wesentlichen ein Resonanzkreis ist. Diese Ausgangsleistung ändert automatisch ihre Frequenz, um jeder Änderung in der Eigenfrequenz der Lastresonanz nachzulaufen, die durch Änderungen in dieser Last oder in ihren elektrischen Eigenschaften hervorgerufen wird.

Die Eigenresonanzfrequenz der Lasten, die beim induktiven Heizen, bei Laser, Plasma und ähnlichen Einrichtungen benutzt werden, ändert sich in Abhängigkeit von der Art der Anwendung und selbst bei derselben Anwendung während des Heiz- und Erregungsvorganges.

Damit die Transistoren des Inverters fehlerfrei arbeiten und die Leistung der Last liefern, ist es notwendig, daß der Inverter auf der Eigenresonanzfrequenz der Last oder nahezu auf dieser Frequenz arbeitet. Darüberhinaus darf der Inverter keine nennenswerte Leistung aufnehmen, es sei denn, daß er an der Eigenresonanzfrequenz der Last oder nahezu an dieser Frequenz arbeitet.

Um diese Frequenzkopplung zu erzielen, wird in der folgenden Weise vorgegangen:

Über eine Hilfsschaltung werden einige Impulse variabler Frequenz dem Transistorinverter und folglich dem Resonanzkreis der Last geliefert. Die Phasenverschiebung zwischen der Spannung und dem Strom der Last wird momentan im gesamten gelieferten Frequenzbereich gemessen. Zu dem Zeitpunkt, an dem die Phasenverschiebung gleich Null oder nahezu gleich Null ist, ist die Frequenz, mit der die Impulse abgegeben werden, gleich oder nahezu gleich der Eigenresonanzfrequenz des Schwingkreises oder Resonanzkreises der Last. Dieser Schaltkreis stabilisiert dann seinen Betrieb auf dieser Frequenz und gibt gleichzeitig ein Signal an die Starterschaltung aus, das die Abgabe von Leistung an den Inverter und folglich an die Last genehmigt.

Das automatische Frequenznachlaufsystem arbeitet beim Starten und während des gesamten Betriebes.

Dieses System soll den Lastfrequenzhub durch den Transistorinverter stabilisieren. Die Phasenverschiebung zwischen dem Strom und der Spannung der Last bei diesen Frequenzen wird gemessen, so daß dann, wenn diese Phasenverschiebung gleich Null oder nahezu gleich Null ist, die Frequenz, die durchlaufen wird, gleich der Eigenresonanzfrequenz der Last ist. Zu diesem Zeitpunkt wird die Arbeit des Inverters auf dieser Frequenz stabilisiert und kann der Inverter und über diesen die Last mit Energie versorgt werden.

Der Starter ist diejenige Schaltung, die dazu dient, die Stromabgabe zum Brückeneinverter und folglich zur Last auf einen sehr niedrigen Wert zu begrenzen, wenn die Inverterarbeitsfrequenz nicht gleich oder nahezu gleich der der Last ist.

Diese Schaltung muß im Gegensatz dazu einen freien Stromfluß zulassen, wenn der Inverter sich auf der Frequenz der Eigenresonanzfrequenz der Last stabilisiert hat.

- 5 Bei einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung besteht der Starter im wesentlichen aus einem Widerstand und einem Transistor, die parallel geschaltet sind. Wenn die Inverterarbeitsfrequenz von der Eigenresonanzfrequenz der Last verschieden ist, liefert die automatische Frequenznachlaufschaltung ein Signal, das den Transistor sperrt, so daß der Strom folglich über den Widerstand gehen muß, der einen derartigen Wert hat, daß er die Stärke des hindurchgehenden Stromflusses begrenzt.
- 10 Wenn ein stabiler Betrieb erreicht ist und folglich die Inverterfrequenz gleich oder nahezu gleich der der Last ist, schaltet die automatische Frequenznachlaufschaltung den Transistor durch, so daß der gesamte Strom nur mit den Beschränkungen hindurchfließt, die vom vorgesetzten Zerhacker auferlegt werden.
- 15 Im folgenden wird anhand der zugehörigen Zeichnung ein besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben. Es zeigen

Fig. 1 das Schaltbild des Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Generators,  
Fig. 2 das Schaltbild einer Schaltung zur Durchführung des automatischen Frequenznachlaufs,

Fig. 3 das Schaltbild einer Starterschaltung und  
Fig. 4 den aktiven Teil eines Inverters.

- 20 Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Generators hat den in Fig. 1 dargestellten Aufbau und arbeitet in der folgenden Weise.

Der Strom des Dreiphasenversorgungsnetzes fließt zu einem Diodenbrückengleichrichter 1, der ihn in einen ununterbrochenen Gleichstrom zur Versorgung des Inverters umwandelt. Dieser ununterbrochene Gleichstrom fließt über einen Zerhacker 2, der die der Last gelieferte Leistung über die Breite der am Zerhackertransistor liegenden Impulse steuert. Diese Steuerung kann von Hand aus oder über eine Bezugsspannung oder einen Bezugsstrom erfolgen, die bzw. der vom Generator selbst oder von einer äußeren Quelle kommen kann.

Der ununterbrochene Gleichstrom vom Zerhacker 2 fließt durch den Starter 3, dessen Arbeitsweise später beschrieben wird und dessen Hauptfunktion darin besteht, den der Last gelieferten Strom zu begrenzen, wenn die Frequenz der Hauptimpulse und die Eigenresonanzfrequenz der Last nicht gleich oder beinahe gleich sind. Wenn eine Synchronisierung zwischen den Hauptimpulsen und der Eigenfrequenz der Last erreicht ist, nimmt die automatische Schaltung diesen Starter aus dem Stromkreis heraus und liefert der Zerhacker frei Leistung bis zu einem von außen vorgegebenen Wert der Last. Der Strom fließt zur Transistorinverterschaltung über zwei Trennwicklungen 4, deren Hauptfunktion darin besteht, zu einer Stromquelle statt einer Spannungsquelle für die Last zu werden. Diese Trennwicklungen verhindern gleichzeitig ein Zurückziehen der hochfrequenten Ströme von der Last und dem Inverter zur Versorgungsschaltung.

Der Transistorinverter 5 hat einen Vollbrückenaufbau mit einer Kommutierungsfrequenz, die automatisch mit sich ändernder Last oder mit sich ändernden Lasteigenschaften während des Heizvorganges auf die Lastfrequenz eingestellt wird.

Im Inverter kann auch ein anderer Brückenaufbau wie beispielsweise ein Halbbrückenaufbau oder ähnli-

ches verwandt werden. Es können Mosfet-Transistoren, bipolare Transistoren oder Kombinationen daraus oder ähnliche Bauelemente benutzt werden.

Ein elektronisches automatisches Frequenznachlaufsystem 6 stimmt die Triggerimpulse, die dem Transistorinverter geliefert werden, auf die Eigenresonanzfrequenz der Last ab.

Diese gesamte Baugruppe wird über elektronische Steuerschaltungskarten 7 und 10 gesteuert, die alle Regulier- und Schutzsysteme enthalten.

Transformatoren 11 und 12 liefern die Intensitäts- und Stromsignale in der Last 13 der Steuerkarte 10.

Bei Laserhohlraumresonatoren und Induktionsheizschaltungen kann die Last in Abhängigkeit von der Anwendung variieren und können darüberhinaus die elektrischen Eigenschaften der Last während des Heizvorganges selbst variieren. Als Folge derartiger Änderungen der elektrischen Eigenschaften ändert sich die Eigenresonanzfrequenz der Lastschaltung bei verschiedenen Verwendungen und gleichfalls im Verlauf des Heizvorganges. Eine optimale Energieübertragung und daher die beste Energieausbeute werden dann erzielt, wenn die Generatorfrequenz gleich der Eigenfrequenz der Last ist.

Das wird mit dem automatischen Frequenznachlaufsystem erreicht, das so arbeitet, daß es eine Reihe von Triggerimpulsen für die Transistoren des Brückeninverters erzeugt, deren Frequenz sich allmählich ändert.

Durch eine entsprechende Schaltung wird gleichzeitig die Phasenverschiebung zwischen der Lastspannung und dem Laststrom gemessen. Wie es allgemein bekannt ist, besteht eine Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom, wenn die Impulsfrequenz von der Eigenfrequenz der Last verschieden ist. Die Lastspannung und der Laststrom sind nur in Phase oder haben nur eine Phasenverschiebung nahezu gleich Null, wenn beide Frequenzen übereinstimmen oder sehr nahe aneinander liegen. Das automatische Frequenznachlaufsystem fährt fort, diese Impulse mit sich ändernder Frequenz zu erzeugen, und die Phasenverschiebung zwischen der Lastspannung und dem Laststrom aufzunehmen. Wenn die Phasenverschiebung gleich Null oder nahezu gleich Null ist, dann werden die Impulse auf dieser Frequenz gehalten, und wird ein Befehl ausgegeben, so daß der Transistor des Starters gesättigt wird und somit die gesamte Energie nur mit den Beschränkungen der Last geliefert werden kann, die vorher durch die entsprechenden Steuerungen festgelegt sind. Der Gleichrichter, der Zerhacker und gegebenenfalls der Starter können dann, wenn es angemessen ist, durch einen Thyristor- oder Transistor-gesteuerten Gleichrichter ersetzt werden, der dieselbe Wirkung wie die ersetzen Bauteile hat.

Fig. 2 zeigt zur Erläuterung das Schaltbild einer Schaltung zur Durchführung des automatischen Frequenznachlaufs.

Diese Schaltung besteht aus einem Zähler 14, einem Digital/ Analog-Wandler 15, einem Oszillator 16, einem Detektor 17 für die Höhe und das Vorzeichen der Phasenverschiebung und einen Komparator 18 mit Hysteresee.

Im folgenden wird die Arbeitsweise dieser Schaltung beschrieben.

Bevor die Energieversorgung angeschlossen wird (Ein/Aus-Signal) ist der Zähler 14 gesperrt. Daher ist 65 das Ausgangssignal des Digital/Analog-Wandlers gleich null und führt  $V_{max}$  dazu, daß der gesteuerte Oszillator ( $Vco$ ) 16 auf maximaler Frequenz schwingt. Wenn die

Energieversorgung angeschlossen wird, wird die Sperre des Zählers aufgehoben und beginnt der Zähler in ansteigendem Sinn zu zählen. Das Ausgangssignal des Wandlers 15 beginnt dann anzusteigen, so daß der Oszillator  $Vco$  Impulse mit immer niedrigerer Frequenz erzeugt. Diese Impulse werden über die Verstärker 19 und 20 in Triggerimpulse des Transistorinverters 5 umgewandelt. Über den Detektor 17 für die Höhe und das Vorzeichen der Phasenverschiebung wird die Phasenverschiebung zwischen der Lastspannung und dem Laststrom überwacht. Wenn sich das Vorzeichen der Phasenverschiebung ändert, zählt der Zähler 14 ab und liefert der Oszillator  $Vco$  16 Impulse mit immer größerer Frequenz. Das Gleichgewicht ist dann erreicht, wenn die Phasenverschiebung der Last gleich null ist und daher die Frequenz der Triggerimpulse des Transistorinverters 5 gleich der der Last ist. Das System ist daher in der Lage, zu jedem Zeitpunkt den Frequenzänderungen in der Last nachzulaufen.

Im folgenden wird die Starterschaltung beschrieben. Die Starterschaltung ist ohne die Kommutierungsschaltkreise in Fig. 3 dargestellt.

Der Transistor  $T1$  wird über die automatische Frequenznachlaufschaltung gesteuert, die in Fig. 2 dargestellt ist, so daß dann, wenn die Phasenverschiebung zwischen der Lastspannung und dem Laststrom praktisch nicht gleich null ist, das Ausgangssignal des Komparators 18 mit Hysterese in Fig. 2 so ist, daß der Transistor  $T1$  sperrt, so daß der Strom dann über den Widerstand  $R$  begrenzt ist.

Das Ausgangssignal des Komparators 18 liegt auch an der Regulierschaltungsplatte 7, so daß dann, wenn die oben erwähnte Phasenverschiebung nicht nahezu gleich null ist, die Breite der Impulse des Zerhackers 2 am kleinsten ist.

Wenn die Phasenverschiebung gleich null oder nahezu gleich null ist, ist die Frequenz der Triggerimpulse am Brückeninverter 5, die durch den Oszillator  $Vco$  16 erzeugt werden, nahezu gleich der Resonanzfrequenz der Last 13, so daß das Signal seinen Zustand ändert und den Transistor  $T1$  sättigt, und somit der Begrenzungswiderstand  $R$  kurzgeschlossen ist.

Die Breite der Zerhackerimpulse nimmt andererseits mit einer Zeitkonstanten von dem kleinsten Wert an zu, bis der Strom oder die Spannung den vorbestimmten Wert erreicht.

Der in Fig. 4 dargestellte aktive Teil entspricht einem praktischen Ausführungsbeispiel der Blöcke  $Q1$ ,  $Q2$ ,  $Q3$  und  $Q4$  des Inverters 5. Es sei darauf hingewiesen, daß der Aufbau aus einer Diode, dem Transistoren nachgeschaltet sind, durch die Verwendung anderer Transistorarten, beispielsweise von Mosfet-Transistoren oder sogar von Kombinationen aus Mosfet-Transistoren und Bipolar-Transistoren geändert werden kann. Die Kommutierungsschaltkreise wurden zum besseren Verständnis absichtlich weggelassen.

3733263

Nummer: 37 33 263  
Int. Cl. 4: H 02 M 7/537  
Anmeldetag: 1. Oktober 1987  
Offenlegungstag: 14. April 1988

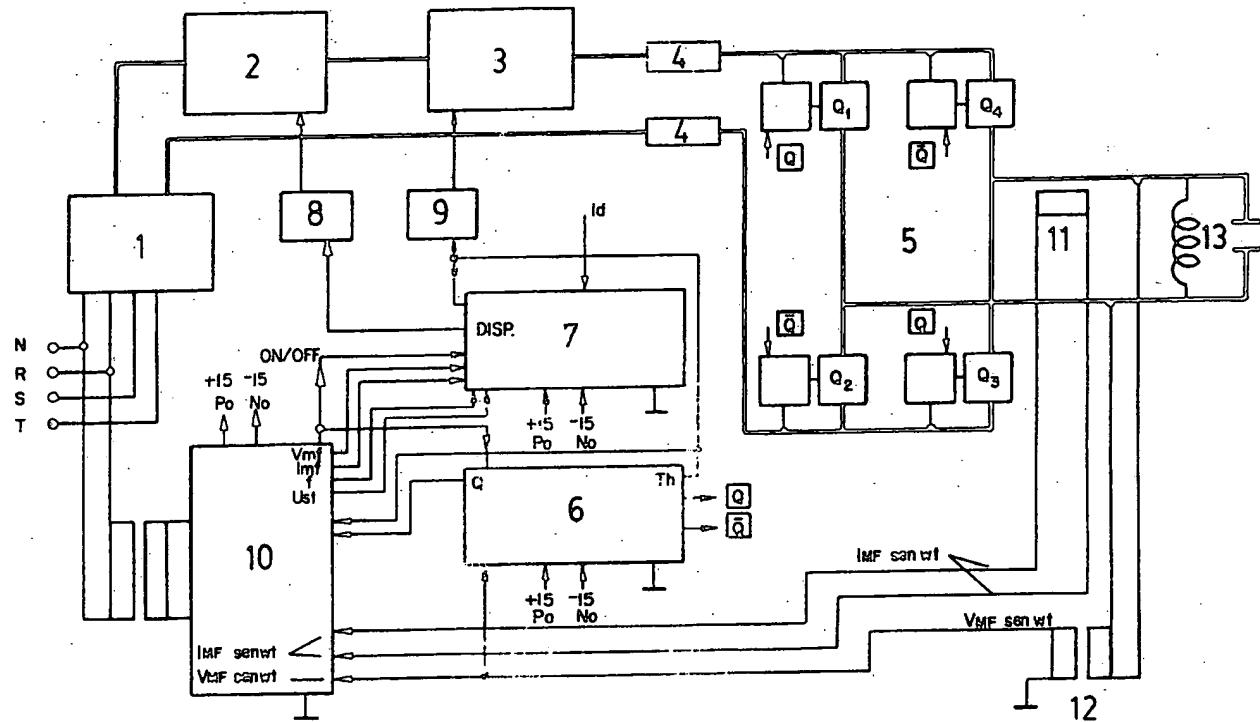


FIG. 1

10.04.81

15

3733263

FIG. 2

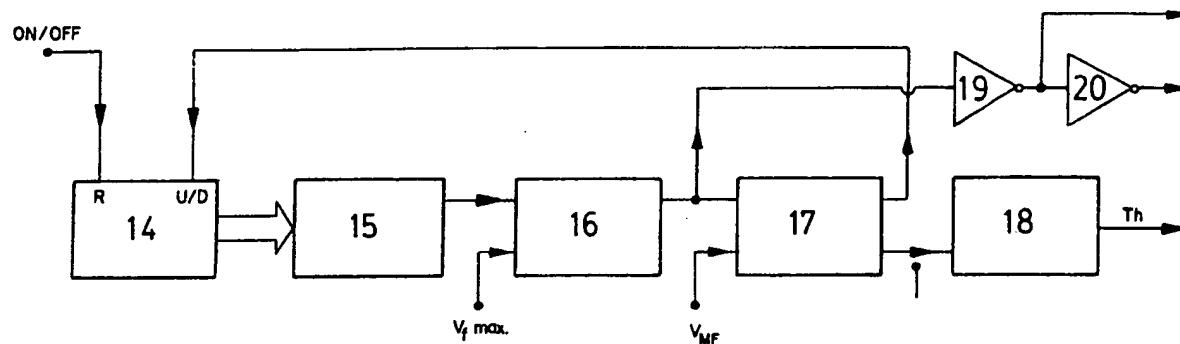


FIG. 3

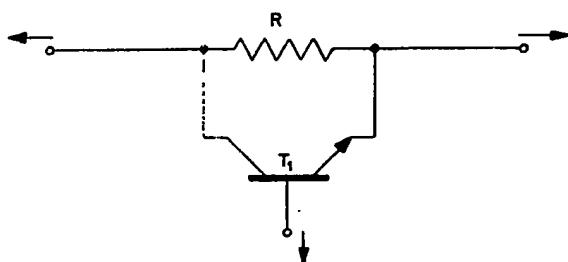


FIG. 4

